

Pedoman batas suhu hubung-singkat kabel listrik dengan tegangan pengenalan tidak melebihi 0,6/1 kV



Daftar isi

DOKUMENTASI PUSIDO BSN

| | |
|--|-----|
| Daftar isi | i |
| Prakata..... | ii |
| Pendahuluan | iii |
| 1 Ruang lingkup | 1 |
| 2 Faktor yang menentukan penerapan batas suhu | 1 |
| 3 Perhitungan arus hubung-singkat yang diperbolehkan | 2 |
| 4 Pengaruh dari metoda instalasi | 3 |
| 5 Pedoman pada desain lengkapan | 4 |
| 6 Suhu hubung-singkat maksimum yang diizinkan untuk kabel dengan tegangan pengenalan 0,6 kV | 5 |
| Lampiran A | 7 |

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) mengenai "Pedoman batas suhu hubung-singkat kabel listrik dengan tegangan pengenal tidak melebihi 0,6/1 kV", diadopsi secara modifikasi dari Standar International Electrotechnical (IEC) 724 (1984) dengan judul "*Guide to the short-circuit temperature limits of electric cables with a rated voltage not exceeding 0,6/1 kV*". Standar ini dirumuskan oleh Panitia Teknik Istilah Kabel dan Konduktor Telanjang (PTKK) masa kerja Tahun 1995/1996.

Ketika dalam taraf Rancangan Standar Nasional Indonesia (RSNI), standar ini telah melalui proses/ prosedur perumusan standar dan terakhir dibahas dalam Forum Konsensus ke XI pada tanggal 10 sampai dengan 16 Januari 1996 untuk mencapai mufakat.

Dalam rangka mempertahankan mutu ketersediaan standar yang tetap mengikuti perkembangan, maka diharapkan masyarakat standardisasi ketenagalistrikan memberikan saran dan usul perbaikan demi kesempurnaan amandemen standar ini dan tak kalah pentingnya untuk revisi standar ini kemudian hari.

Semoga SNI ini bermanfaat bagi kita terutama dalam menunjang pembangunan nasional untuk kesejahteraan rakyat.

Pendahuluan

Empat aspek dapat dipertimbangkan bila memilih sistem pengenalan arus hubung-singkat kabel :

- 1) batas suhu maksimum yang diizinkan untuk konduktor, isolasi, perisai logam, jaket dan pending mekanis.

Untuk penggunaan praktis, energi yang menghasilkan suhu yang biasanya dijelaskan oleh nilai ekuivalen (I^2t)*, sehingga durasi maksimum yang diizinkan untuk memberikan arus hubung-singkat dapat dihitung,

- 2) nilai maksimum arus yang tidak menyebabkan kegagalan mekanis (seperti retak) yang disebabkan oleh gaya elektromekanis.

Dengan mengabaikan adanya batas suhu penentuan arus maksimum ini yang tidak terlampaui,

- 3) unjuk kerja sambungan dan terminasi pada batas arus dan durasi tertentu untuk hubungan kabel

Lengkapan juga disyaratkan untuk tahan gaya termomekanis dan elektromagnetik yang dihasilkan oleh arus hubung-singkat pada kabel,

- 4) pengaruh cara instalasi pada 3 aspek di atas

Aspek 1 berisi rincian, dan batas yang diberikan berdasarkan pada pertentangan hanya pada kabel. Arus hubung-singkat tunggal digunakan tidak diharapkan menghasilkan adanya kerusakan yang berarti pada kabel tapi pengulangan hubung-singkat dapat menyebabkan kerusakan akumulatif. Pedoman ini diberikan bila sesuai pada aspek 3 dan 4 sejauh tekanan yang berhubungan dengan gaya termomekanis pada konduktor dan perisai atau pelindung listrik.

Hal ini tidak mungkin untuk memberikan batasan yang komplis pada sambungan dan terminasi karena konstruksinya tidak distandarkan dengan berbagai unjuk kerja.

Bila kapasitas hubung-singkat penuh dari kabel dilengkapi perlengkapan maka harus didesain kesesuaiannya, tapi ini biasanya tidak ekonomis dan kapasitas hubung-singkat terminasi.

Bila mungkin, pedoman ini akan mencakup unjuk kerja perlengkapan yang diperlukan bila digabungkan dengan kabel yang dioperasikan pada batas hubung-singkat yang diberikan pada pedoman ini.

Batasan untuk kabel untuk tegangan lebih tinggi dari 1 kV akan diberikan dalam publikasi pengganti.

Pedoman batas suhu arus hubung-singkat kabel listrik dengan tegangan pengenalan tidak melebihi 0,6/1 kV

1 Ruang lingkup

Pedoman ini diterapkan pada suhu hubung-singkat maksimum kabel listrik yang mempunyai tegangan pengenalan tidak melebihi 0,6/1 kV.

Pedoman diberikan sebagai berikut :

- bahan isolasi,
- bahan selubung luar dan selubung dalam,
- bahan konduktor dan perisai logam serta komponen.

* I^2t (Joule)

Integral kuadrat arus yang diberikan selama selang waktu :

$$I^2t = \int_0^t I^2 dt$$

Desain lengkapan dan pengaruh metoda instalasi pada batas suhu tersebut diperhitungkan.

Pedoman juga memberikan kalkulasi arus hubung-singkat yang diizinkan pada komponen arus pembawa kabel.

2 Faktor yang menentukan penerapan batas suhu

Suhu arus hubung-singkat diberikan dalam ayat 6 sebagai suhu sebenarnya dari komponen arus pembawa yang dibatasi oleh bahan terdekat dalam kabel dan untuk lama hubung-singkat sampai dengan 5 detik. Suhu ini hanya akan diperoleh dalam praktek jika dianggap pemanasan non-adiabatik sesuai diberikan untuk rugi panas kedalam dielektrik selama pengujian hubung-singkat dilakukan, bila kalkulasi arus hubung singkat dapat diizinkan untuk waktu tidak lebih dari 5 detik. Penggunaan metoda adiabatik bila rugi panas dari komponen pembawa arus selama hubung-singkat diabaikan, memberikan arus hubung-singkat pada sisi amannya.

Periode waktu 5 detik yang diberikan adalah batas suhu yang diberikan adalah sah, bukan untuk aplikasi metoda kalkulasi adiabatik.

Batas waktu yang menggunakan metoda adiabatik dengan definisi berbeda, fungsi lamanya hubung-singkat dan area luas penampang komponen pembawa arus.

Ini akan diisi dengan publikasi pengganti pada metoda non adiabatik kalkulasi arus hubung-singkat.

Untuk bahan isolasi termoplastik batasnya harus diterapkan dengan perhatian bila kabel hubungan lain atau klem yang aman di udara. Tekanan lokal terhadap klem atau radius instalasi yang kurang dari 8 kali diameter luar kabel, kecuali untuk kabel yang dijaga tetap keras, dapat mengakibatkan gangguan perubahan yang tinggi di bawah kondisi hubung-singkat.

Bilamana kondisi ini tidak dapat dicegah, disarankan bahwa batasnya dikurangi 10 °C.

Batas yang diberikan berdasarkan pada tingkat kekerasan rata-rata PVC dan beberapa pengaturan dapat diperlukan untuk tingkat lainnya, khususnya itu dikompon untuk peningkatan sifat suhu rendah.

Perhatian harus diberikan bila menggunakan batas yang direkomendasikan untuk bahan termoset pada konduktor besar karena gaya mekanis yang tinggi dikombinasikan dengan tiap karakteristik yang tertinggal akan menghasilkan perubahan yang cukup untuk menyebabkan kegagalan.

Perhatian dapat diperlukan dengan area dengan luas penampang dalam daerah 1.000 mm² bila menggunakan suhu tertentu untuk isolasi kertas yang diimpregnasi, butyl, XLPE dan EPR dan karet dengan perisai tahan suhu rendah.

3 Perhitungan arus hubung-singkat yang diperbolehkan

Metoda adiabatik berikut, dengan mengabaikan rugi-rugi panas, adalah cukup tepat untuk menghitung arus hubung-singkat konduktor dan lapisan metal yang diperbolehkan pada umum-nya kasus praktis dan tiap kesalahan pada sisi aman. Namun, untuk penyaring metoda adiabatik menunjukkan kenaikan suhu yang lebih tinggi dari kejadian sebenarnya dalam praktek dengan demikian seharusnya digunakan beberapa kebijaksanaan.

Penyamarataan bentuk dari rumus kenaikan suhu adiabatik yang dapat dipakai pada setiap suhu awal :

$$I^2 t = K^2 S^2 \ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)$$

dengan pengertian :

- I* adalah arus hubung-singkat (r.m.s. melewati waktunya) (A)
- t* adalah lamanya hubung-singkat (detik). Dalam kasus penutupan kembali, *t* merupakan jumlah lamanya hubung-singkat hingga total maksimum 5 detik. Setiap dampak pendinginan antara penutupan kembali diabaikan.
- K* adalah konstanta bergantung pada material dari komponen arus pembawa (As^{1/2}/mm²).

$$K = \sqrt{\frac{Q_c (\beta + 20)}{\rho_{20}}}$$

S adalah luas penampang komponen arus pembawa (mm²) : untuk konduktor dan lapisan metal adalah cukup untuk mengambil luas penampang nominal (dalam hal perisai logam, kuantitas ini membutuhkan pertimbangan yang hati-hati).

θ_f adalah suhu akhir (°C)

θ_i adalah suhu permulaan (°C)

β adalah berbanding terbalik koefisien suhu dari resistan dari komponen arus pembawa pada 0°C (K)

\ln adalah log_e

Q_c adalah panas jenis dari komponen arus pembawa pada 20 °C (J/°C.m³)

ρ_{20} adalah resistivitas listrik dari komponen arus pembawa 20 °C (Ω.m).

Konstan yang digunakan dalam rumus di atas diberikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 1 Konstanta untuk beberapa bahan logam

| Bahan | $K (As^{1/2}/mm^2)^{***}$ | $\beta (°C)$ | $Q_c (J/°C.m^3)^{**}$ | $\rho_{20} (\Omega.m)^*$ |
|---|---------------------------|--------------|-----------------------|--------------------------|
| Tembaga | 226 | 234,5 | $3,45 \times 10^{-3}$ | $179,241 \times 10^{-6}$ |
| Aluminium | 148 | 228 | $2,5 \times 10^{-3}$ | $289,264 \times 10^{-6}$ |
| Timah | 41 | 230 | $1,45 \times 10^{-3}$ | 214×10^{-6} |
| Baja | 78 | 202 | $3,8 \times 10^{-3}$ | 138×10^{-6} |
| <p>* Nilai diperoleh dari rumus</p> <p>** Nilai diambil dari Publikasi IEC 287 Tabel 1</p> <p>Kalkulasi arus pengenalan kontinyu kabel listrik (faktor beban 100 %)</p> <p>*** Nilai diambil dari Elektron 24 Oktober 1972.</p> | | | | |

4 Pengaruh dari metoda instalasi

Bila hal itu dimaksudkan untuk menggunakan sepenuhnya batas hubung-singkat kabel, pertimbangan harus diberikan pada pengaruh dari metoda instalasi.

Aspek yang penting tentang pertambahan dan alami dari pengendalian tekanan mekanis yang tidak terlindung pada kabel. Perluasan secara longitudinal pada kabel selama hubung-singkat dapat berarti, bila perluasan ini dikendalikan dari gaya resultan dapat dipertimbangkan.

Untuk kabel di udara, hal ini disarankan untuk memasang kabel sedemikian sehingga perluasannya terserap secara seragam sepanjang panjang kabel yang diizinkan diganti bengkokan yang berlebihan hanya pada beberapa titik. Bahan-bahan pemasangan seharusnya ditempatkan cukup jauh terpisah untuk dapat membengkokkan cabang dari kabel inti banyak atau inti tunggal.

Bila kabel dipasang langsung di dalam tanah, atau harus dikendalikan pemasangannya, kemudian ketetapan harus dibuat untuk mengakomodasikan gaya longitudinal yang dihasilkan pada terminasi dan kotak sambungan. Belokan tajam harus dihindari karena gaya longitudinal timbul menjadi tekanan radial pada belokan rute kabel dan hal ini dapat merusak komponen termoplastik kabel seperti isolasi dan lapisan. Perhatian diberikan ke radius minimum dari belokan terpasang yang direkomendasikan dengan peraturan instalasi yang sesuai.

Untuk kabel di udara, juga diinginkan untuk menghindari pemasangan pada belokan yang dapat menyebabkan tekanan setempat pada kabel.

5 Pedoman pada desain lengkapan

Perhatian seharusnya diberikan pada desain dan sambungan instalasi dan terminasi jika batas set hubung-singkat keluar dalam pedoman ini yang disadari aman.

Catatan berikut bukan satu-satunya dan disediakan hanya untuk pedoman.

Hal ini diinginkan bahwa unjuk kerja dari lengkapan dipertimbangkan pada konteks instalasi khusus.

- 1) Arah gaya longitudinal dalam kabel konduktor dapat dipertimbangkan, tergantung pada tingkat pengendalian cabang yang menentukan pada kabel. Nilai setinggi 50 N/mm^2 dari bagian konduktor dapat dengan mudah terjadi. Gaya-gaya ini dapat menyebabkan tekukan dari konduktor dan kerusakan lainnya dalam sambungan atau terminasi.

- 2) Tekanan longitudinal dalam kabel konduktor juga diharapkan setelah hubung-singkat.

Tekanan ini mungkin ada untuk perioda yang sangat lama, khususnya jika kabel hanya sebagian yang dibebani setelah hubung singkat. Nilai minimum 40 N/mm^2 dari bagian konduktor harus digunakan untuk tujuan desain.

- 3) Dengan impregnasi kabel kertas, pemuaian kompon dapat memberikan kenaikan untuk tekanan gas yang dapat dipertimbangkan. Jika komponnya keluar pada sambungan dan terminasi, itu dapat menyebabkan melemahkan dari pengisian bitumen.

Pengembunan boleh juga ditarik kebelakang menjadi perlengkapan dan kabel dalam kuantitas yang cukup untuk mempengaruhi unjuk kerja isolasi.

- 4) Pemakaian batas suhu hanya diterapkan pada setiap kombinasi dari arus dan waktu yang menghasilkan suhu yang tidak melampaui batas yang diizinkan itu.

Untuk arus hubung-singkat ini tidak cukup. Batas tambahan harus diatur untuk nilai arus puncak agar menghindari gaya elektromagnetik berlebihan.

Gaya-gaya ini terutama penting pada terminasi dan penyangga tepat yang diperlukan untuk menghindari pergerakan yang tidak diinginkan dan merusak.

- 5) Sambungan yang disolder tidak harus digunakan jika suhu konduktor lebih besar dari 160°C yang dimaksudkan.

- 6) Perhatian diperlukan untuk menguji desain pada stabilitas hubung-singkat dari resistan listrik untuk semua sambungan mekanis dan klem yang digunakan pada sambungan konduktor dan pelindung mekanis dan ikatan perisai logam.

Ikatan perisai logam dan pelindung mekanis harus mempunyai cukup kemampuan termal.

- 7) Konduktor netral konsentris dan kawat pelindung mekanis, bila dikumpulkan bersama pada sambungan atau terminasi, boleh mempunyai unjuk kerja hubung-singkat lebih rendah bila di dalam kabel. Pada beberapa hubungan kenaikan suhu yang diharapkan seharusnya tidak berlebihan untuk bahan yang terlibat. Dan cukup dukungan mekanis harus disediakan.
- 8) Perhitungan harus diberikan pada resiko yang sangat tinggi dari penyusutan isolasi longitudinal potongan akhir dari kabel berisolasi polimerik, terutama PE dan XLPE, pada suhu hubung-singkat.

6 Suhu hubung-singkat maksimum yang diizinkan untuk kabel dengan tegangan pengenalan 0,6 kV

CATATAN Untuk kabel isolasi diekstrusi sesuai dengan SNI 04-267-1989.

Untuk kabel isolasi kertas sesuai dengan Publikasi IEC 55 dan 141.

Tabel ini harus terbaca pada sambungan dengan ulasan seperti Ayat 2.

Nilai yang diberikan merupakan suhu sebenarnya dari komponen arus pembawa.

Batas untuk hubung-singkat sampai dengan durasi 5 detik.

Tiga sub ayat berikut harus dipertimbangkan bersama apabila pemilihan batas suhu untuk konstruksi kabel khusus.

6.1 Bahan isolasi (yaitu batas suhu untuk seluruh jenis konduktor apabila di dalam hubungan dengan bahan isolasi tertentu)

Tabel 2 Batas suhu untuk bahan isolasi

| Bahan | Suhu (°C) |
|-------------------------------------|-----------|
| PVC : | |
| - sampai dengan 300 mm ² | 160 |
| - lebih besar 300 mm ² | 140 |
| Karet butil | 220 |
| Karet | 200 |
| XLPE | 250 |

6.2 Perisai luar dan selubung dalam dimana tidak ada listrik atau persyaratan lainnya, yaitu pelindung listrik logam, perisai/pelindung mekanis batas suhu bila berhubungan dengan bahan selubung luar, tetapi secara termal terpisah dari isolasi dengan lapisan bahan yang sesuai dan tebalnya cukup. Jika pemisahan termal tidak disediakan, batas suhu dari isolasi harus digunakan jika lebih rendah dari lapisan luar tersebut.

6.2.1 Pelindung listrik kontinyu/perisai logam atau lapisan tertutup dari kawat pelindung mekanis

Tabel 3 Batas suhu pelindung listrik kontinyu/perisai logam atau lapisan tertutup dari kawat pelindung mekanis

| Bahan | Suhu (°C) |
|-------------------|-----------|
| PVC | 200 |
| PE | 150 |
| CSP | 180 |
| SE ₁ * | 220 |

* Bahan SE₁ ditentukan dalam SNI 04-267-1989; Kabel listrik berisolasi dielektrik pada diekstrusi dengan tegangan pengenalan 1 kV sampai dengan 30 kV, seperti khas selubung kompon elastomer berdasarkan pada polychroprene, polyetilen, chlorosulf atau polimer sejenis jarak antar.

6.2.2 Kawat pelindung listrik

Dalam pertimbangan.

6.3 Konduktor/perisai logam/pelindung listrik/bahan pelindung mekanis dan metoda hubungannya

CATATAN Pembatasan dari bahan bukan logam dalam hubungan dengan logam ini harus juga dipertimbangkan.

Tabel 4 Batas suhu untuk konduktor/perisai logam/pelindung listrik/ bahan pelindung mekanis dan metoda hubungannya

| Logam | Kondisi | Suhu (°C) |
|-------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Tembaga aluminium | Hanya konduktor ¹) | (lihat catatan 2) |
| | Sambungan las | (lihat catatan 2) |
| | Sambungan las eksotermis | 250 (lihat catatan 3) |
| | Sambungan solder | 160 |
| | Kompresi deformasi mekanis | 250 (lihat catatan 3) |
| | Sambung-sambung mekanis berbaut | (lihat catatan 4) |
| Timbal | | 170 |
| Paduan timbal | | 200 |
| Baja | | (lihat catatan 2) |

CATATAN 1 Termasuk konduktor netral konsentris.

CATATAN 2 Dibatasi oleh bahan yang berhubungan dengannya.

CATATAN 3 Suhu konduktor terdekat, suhu sambungan sebenarnya pada suhu yang lebih rendah.

CATATAN 4 Mengacu ke rekomendasi pabrik.

Lampiran A

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengujian hubung-singkat kabel dan lengkapan kabel

A1 Pendahuluan

Kabel yang mengalami hubung-singkat menunjukkan perilaku yang sangat kompleks.

Kebanyakan publikasi mengenai hasil pengujian hubung-singkat seringkali tidak konsisten (irreconcilable), sekalipun rincian lengkap dari metoda ujinya diberikan, karena pengujian dilakukan dengan kriteria yang berlainan.

Pengujian hubung-singkat harus dirancang dengan hati-hati, untuk memastikan parameter pembatas yang diperlukan (temperatur atau arus hubung-singkat) betul-betul dicapai.

Dalam satu pengujian tidak selalu harus dipenuhi sekaligus semua kondisi batas yang diperlukan. Lagipula, jika pengujiannya tidak dirancang dengan teliti, untuk satu kondisi saja, batas yang dimaksud tidak betul-betul dipenuhi, akibat adanya interaksi diantara beberapa variabel yang ada. Walaupun demikian, pengujian yang dirancang untuk menjelaskan satu faktor tertentu dengan cermat, dapat digunakan untuk menilai pengaruh dari faktor-faktor lainnya, sehingga akan mengurangi jumlah pengujian yang diperlukan.

Di bawah ini diberikan faktor-faktor utama yang harus dipertimbangkan dalam melaksanakan uji hubung-singkat kabel dan kelengkapan kabel. Jumlahnya tidak banyak, tetapi hampir semua faktor yang penting sudah tercakup. Tujuan dari diberikannya lampiran ini adalah agar uji hubung-singkat dapat dilakukan dengan kondisi yang realistis. Dalam hal ini, tidak ada maksud untuk mendefinisikan uji hubung-singkat, melainkan untuk memberikan pegangan mengenai variabel yang perlu dipertimbangkan. Dengan demikian, diharapkan bahwa diedarkannya daftar faktor-faktor ini akan mempermudah rekonsiliasi publikasi hasil-hasil pengujian hubung-singkat selanjutnya.

Untuk mudahnya, faktor-faktor tersebut kita kelompokkan menjadi 3 (tiga) golongan, yaitu :

- a) pertimbangan awal (Pasal A2.1),
- b) pengujian hubung-singkat sebenarnya (Pasal A.2.2),
- c) setelah pengujian hubung-singkat dilakukan (Pasal A2.3).

A2 Faktor-faktor yang mempengaruhi pengujian hubung-singkat

A2.1 Pertimbangan awal

A2.1.1 Persiapan contoh

A2.1.1.1 Cara pemasangan

Bagaimana kita menahan kabel selama pengujian, tergantung pada cara pemasangan yang ingin ditiru (simulasi). Lain daripada itu, tergantung juga pada informasi yang diinginkan, misalnya saja, apakah itu :

- batas termis (batas temperatur untuk kerusakan kimiawi atau penuaan),
- batas termomekanis (batas temperatur yang bisa ditolerir dalam hubungannya dengan gaya mula longitudinal dari penghantar yang bekerja pada isolasi kabel atau kelengkapan kabel),
- batas elektrodinamis (nilai arus puncak terbesar yang tidak sampai menimbulkan pembengkakan (bursting) kabel yang membahayakan),

atau gabungan diantara butir-butir di atas.

Demikianlah, contoh kabel yang diuji dapat kita pasang :

- bebas;
- ditahan di atas kayu, logam dengan selipan-selipan dari bahan karet;
- atau sepenuhnya tertahan sebagaimana halnya kabel yang ditanam langsung di dalam tanah yang mantap;
- atau dapat juga ditanam setengah tertahan sebagaimana halnya pada pemasangan di dalam pipa (*duct*) tiruan.

Bagaimanapun juga usahakan agar selalu ada bagian kabel yang membelok.

Jenis kabel (berinti banyak atau berinti tunggal, kabel berbentuk pita atau berbentuk tumpukan tiga inti) akan mempengaruhi persiapan pengujian.

A2.1.1.2 Panjang dari contoh kabel

Simulasi kabel panjang dengan kabel pendek harus dilakukan dengan sangat hati-hati, kecuali bila yang akan dipelajari hanyalah tingkat kerusakan (degradasi)nya saja.

Ada kemungkinan bahwa kita harus meneliti tegangan-tegangan mekanis yang merupakan simulasi dari keadaan pada operasi sesungguhnya (tegangan mekanis yang timbul akibat tidak tersalurkannya pemuaian longitudinal akibat pemanasan) dalam hal contoh tidak mungkin diambil cukup panjang.

Sebab hanya dengan kabel yang cukup panjang bisa diperoleh nilai gaya mekanis sesuai keadaan yang sebenarnya. Besarnya gaya-gaya ini tergantung pada bahan penghantar dan konstruksi penghantar.

A2.1.1.3 Keadaan kabel

Besarnya gaya muai yang ada pada kabel yang pernah dipakai, akan lebih kecil daripada gaya muai kabel baru. Ini terjadi karena sudah adanya pelepasan tegangan sisa selama periode pemakaian. Relaksasi sudah ada walaupun kabel baru dibebani beberapa siklus pembebanan.

Karena itu pada pengujian harus diperhitungkan juga apakah kabelnya baru, atau sudah pernah dipakai.

A2.1.1.4 Hubungan dengan terminasi

Kuat untuk menahan (tanpa memindahkan atau melakukan langkah-langkah untuk melepaskan gaya longitudinal) temperatur hubung-singkat dan gaya longitudinal dan gaya-gaya yang bisa mengem-bungkan/menekuk kabel, namun tidak mempengaruhi respon contoh.

A2.1.1.5 Kelengkapan kabel

Jika kedalam pengujian termasuk pengujian terhadap kelengkapan kabel, metoda penahanan/ pemasangan contoh uji harus sudah diperhitungkan dengan baik.

Jika itu sambungan kabel, maka harus diingat bahwa sambungan harus sedapat mungkin memikul gaya termomekanis yang maksimum. Itu berarti bahwa sambungan kabel dan bagian kabel dikedua ujungnya harus ditahan (diklem) secara kaku (non fleksibel); panjang kabel di luar alat sambung harus cukup sehingga gaya muainya cukup mewakili, tanpa belokan.

Jika tidak demikian gaya mekanis longitudinal harus diberikan secara khusus dari luar. Biasanya akan lebih baik kalau kelengkapan kabel itu diuji terpisah dari kabel, dalam pengertian bahwa pada pengujiannya kabel semata-mata dipakai sebagai perangkat bantu.

A2.1.2 Instrumentalia

Cara mengukur kenaikan temperatur harus dipikirkan baik-baik, dan harus dengan ketelitian yang tinggi. Metoda yang berdasarkan perubahan tahanan merupakan yang paling teliti, akan tetapi umumnya terbatas hanya pada penggunaan tegangan searah.

Penggunaan termokopel mengundang banyak masalah : penambahan waktu (rise time), integritas kontak termis, interferensi induksi dan konduksi pada pengukuran akhir (measuring lead) (karena arus pengujian/hubung-singkat yang besar), keandalan temperatur terukur karena akan tergantung pada posisis penghantar (tahanan jenis termis penghantar cukup besar hingga bisa mempengaruhi pemindahan panas (heat transfer) pada periode hubung-singkat normal), dan jenis instrumen pencatat yang digunakan.

Transduser tekanan dan instrumentasinya harus mampu mengukur gaya-gaya transien.

Selain teliti, instrumentasi pengukur arus hubung-singkat juga harus cocok untuk pengukuran-pengukuran transien, khususnya cocok dan teliti untuk pengukuran pada selang waktu yang sangat singkat (kurang dari satu cycle untuk keadaan dimana proteksi sekering dipertimbangkan).

A2.2 Pengujian hubung-singkat sebenarnya

A2.2.1 Sumber arus hubung-singkat

Arus hubung-singkat dapat diperoleh dari sumber tiga-fasa ataupun sumber berfasa tunggal.

Pemilihannya harus cermat, karena pada kabel berinti banyak, pada simulasi gangguan fasa ke fasa misalnya, pengaruhnya akan berlainan.

A2.2.2 Bentuk gelombang arus hubung-singkat

Bentuk gelombang arus hubung-singkat bisa simetris atau tidak simetris, tergantung pada faktor kerja rangkaian, serta tergantung pada kapan hubung-singkat itu dipasang (dibagian gelombang yang mana hubung-singkat dihubungkan). Yang menentukan pemilihan gelombang simetris atau tidak simetris adalah parameter pembatas yang akan diteliti.

Untuk batas termis dan termomekanis, yang ideal adalah arus yang konstan.

Akan tetapi, dalam praktek hal ini tidak selalu dapat kita lakukan, akibat pemanasan contoh, ketidaksimetrisan, dan lain sebagainya, sementara arus juga sedikit-sedikit berkurang nilainya (karena peningkatan tahanan). Pada kasus terakhir, arus yang harus dicatat adalah arus r.m.s. ekuivalen selama periode hubung-singkat.

Penurunan nilai arus ini juga harus diperhitungkan pada waktu menset arus prospektifnya.

Untuk batas elektrodinamis, lebih baik dipilih arus yang sangat tidak simetris dengan maksud untuk mendapatkan nilai arus puncak yang tinggi.

Dalam kasus ini, parameter yang penting adalah arus puncak asimetris.

A2.2.3 Faktor-faktor pembatas

Untuk hubung-singkat yang periodenya hanya beberapa cycle, biasanya yang menjadi pembatas adalah gaya-gaya elektrodinamis.

Temperatur atau gaya-gaya termomekanis biasanya merupakan pembatas untuk hubung-singkat yang periodenya lebih lama. Untuk penghantar-penghantar yang luas penampangnya kurang dari 50 mm² gaya-gaya elektrodinamis dan termomekanis biasanya sudah tidak lagi berarti.

A2.2.4 Temperatur awal

Temperatur keadaan stabil (steady-state) sebelum hubung-singkat terjadi bisa menimbulkan pengaruh yang berarti terhadap hasil pengujian. Sebagai contoh, daya tahan terhadap gaya-gaya elektrodinamis kabel berselubung polimer tanpa pelindung mekanis akan lebih kecil daripada kabel yang sama pada temperatur ruang.

Karena itu, temperatur keadaan stabil sebelum pengujian seyogyanya dipilih sesuai kondisi operasi kabel yang bersangkutan, dan harus diukur dengan cermat.

A2.2.5 Jumlah hubung-singkat

Dalam merencanakan uji hubung-singkat, harus dipikirkan dulu apakah pengujiannya perlu mencakup hubung-singkat beruntun ataukah cukup hanya satu hubung-singkat saja.

Hubung-singkat beruntun dimaksudkan untuk mensimulasikan sistem penutupan rele otomatis (automatic reclosure system). Juga harus dipikirkan dulu berapa selang waktu yang tepat diantara hubung-singkat yang satu dengan yang berikutnya.

A2.3 Setelah hubung-singkat

A2.3.1 Umum

Pengujian satu ukuran kabel belum tentu mewakili semua ukuran dari jenis kabel yang bersangkutan. Faktor pembatasnya bisa saja berubah, dan perubahannya bisa karena ukuran penghantar ataupun konstruksi kabel. Sebagai contoh, kabel kecil lebih cenderung dibatasi oleh batas termis sementara kabel besar lebih cenderung dibatasi oleh gaya elektrodinamis.

Lain daripada itu : penghantar padat (solid) menghasilkan gaya longitudinal yang lebih besar daripada penghantar pilin.

A2.3.2 Metoda penaksiran tingkat kerusakan

Metoda yang dipilih akan tergantung pada unjuk kerja (terutama panjang umur harapan) kabel setelah hubung-singkat pada masa pelayanannya. Ada tiga aspek penuaan kabel yang perlu dipertimbangkan :

- a) apakah sifat-sifat mekanis kabel selama masa penggunaannya menurun sehingga batas hubung-singkatnya berubah ?
- b) apakah hubung-singkat itu sendiri menyebabkan penuaan tambahan terhadap kabel ?
- c) apakah ada relaksasi sifat-sifat kabel dalam beberapa hari awal pemakaian kabel yang membuat kabel bisa lebih tahan terhadap hubung-singkat.

A2.3.2.1 Kabel

Kriteria-kriteria yang mungkin adalah deformasi isolasi, (atau untuk kabel kertas, penghangus-an, atau sobeknya kertas isolasi), pengujian tegangan tembus, pengujian *discharge* (untuk *adhesi* pelindung listrik), hilangnya kompon impregnasi untuk kabel non draining (terminasi yang dipakai untuk pengujian hubung-singkat bisa banyak mempengaruhi aspek ini), pergerakan inti kabel dan/atau pengisi kabel (*innersheath*), perubahan bentuk (*distorsi*) kabel, terjadinya robekan atau kristalinitas selubung timah hitam, serta pembengkokan penahanan atau pengikat kabel pada kasus kabel inti tunggal yang dipasang tumpuk-tiga (*treefoil*).

A2.3.2.2 Kelengkapan kabel

Kelengkapan kabel memberikan kriteria tambahan kepada yang sudah disebutkan di atas.

Diantaranya adalah :

- seberapa jauh gerakan inti kabel yang diperbolehkan terjadi di dalam alat sambung (*joint box*),
- kelayakan dari penghantar pelindung mekanis dan selubung logam untuk melakukan arus gangguan (*fault current*) tanpa mengalami kerusakan,
- perilaku sambungan penghantar (solderan meleleh, atau konektor tertarik oleh relaksasi gaya-gaya yang timbul); dan
- seberapa jauh pembengkokan inti kabel diujung terminasi yang diperbolehkan.